

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005 年 8 月 18 日 (18.08.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/076039 A1

(51) 国際特許分類<sup>7</sup>: G01T 1/29, G01R 33/035, G21K 5/00, 5/04, H01J 37/04, H01L 21/027

(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/002075

(22) 国際出願日: 2005 年 2 月 10 日 (10.02.2005)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願2004-033714 2004 年 2 月 10 日 (10.02.2004) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大

字門真 1 0 0 6 番地 Osaka (JP). 独立行政法人理化学研究所 (RIKEN) [JP/JP]; 〒3510198 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 Saitama (JP).

(72) 発明者; および

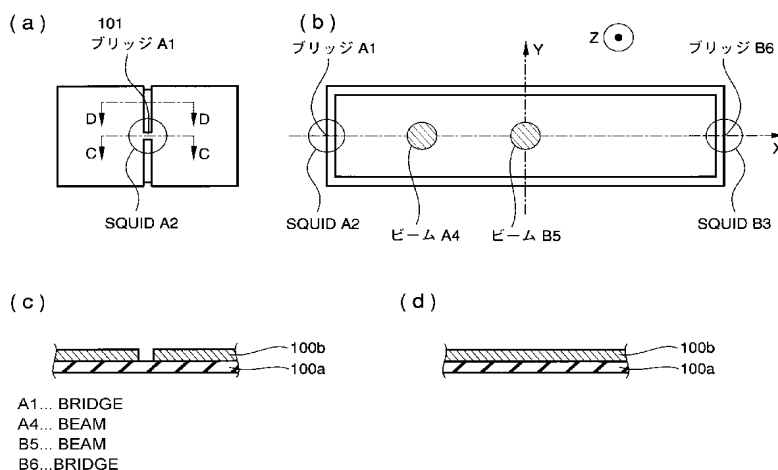
(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 佐々木 雄一朗 (SASAKI, Yuichiro). 渡邊 環 (WATANABE, Tamaki). 川口 武男 (KAWAGUCHI, Takeo). 渡辺 伸一 (WATANABE, Shinichi). 片山 武司 (KATAYAMA, Takeshi). 水野 文二 (MIZUNO, Bunji). 金田 久隆 (KANEDA, Hisataka).

(74) 代理人: 高松 猛, 外 (TAKAMATSU, Takeshi et al.); 〒1076013 東京都港区赤坂一丁目 1 2 番 3 2 号アーク森ビル 1 3 階 栄光特許事務所 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: BEAM MEASURING EQUIPMENT AND BEAM MEASURING METHOD USING THE SAME

(54) 発明の名称: ビーム測定装置およびこれを用いたビーム測定方法



(57) Abstract: Beam measuring equipment is provided for nondestructively measuring a beam current value at a high accuracy and for measuring a beam position. The beam measuring equipment is provided with a magnetic shielding part for external magnetic field shielding and a plurality of magnetic field sensors arranged in a shielding space generated by the magnetic shielding part. The magnetic field sensor is provided with a plurality of magnetic field collecting mechanisms to collect magnetic fields generated by a beam current to be measured. The magnetic field collecting mechanism is a tube-shaped structure, a surface of which is made of superconductor, and a bridge part only a part of which is formed of superconductor is provided on the outer circumference part of the magnetic field collecting mechanism. The magnetic field generated by the beam current to be measured is measured by the magnetic sensor. The beam measuring equipment is provided with a plurality of the magnetic field sensors so as to detect the beam position and the beam current.

(57) 要約: ビーム電流値を高精度で非破壊型測定ができ、かつビームの位置を測定できるビーム測定装置を提供する。外部磁場遮蔽用の磁気遮蔽部と、前記磁気遮蔽部によって生成された遮蔽空間に配された複数の磁場センサとを備え、前記磁場センサは、測定すべきビーム電流が生成する磁場を収集する磁場収集機構を複数個具備し、前記磁場収集機構は、少なくとも表面が超伝導体で外周部には一部分のみを超伝導体で構成したブリッジ部分を有する筒状構造物であり、測

[続葉有]

WO 2005/076039 A1



(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,

BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

### ビーム測定装置およびこれを用いたビーム測定方法

#### 技術分野

- [0001] 本発明は、ビーム測定装置およびこれを用いたビーム測定方法にかかり、特にイオンビームを遮断することなくビーム電流値と位置を測定する装置に関する。

#### 背景技術

- [0002] ビームを遮断することなく、イオンビームの電流値を高精度で測定する方法としては、従来、研究報告がなされている(非特許文献1参照)。この方法は、極めて高感度の磁場センサであるジョセフソン結合素子を用いたスクイッド(SQUID)と呼ばれるセンサを用いて、ビーム電流がつくる磁場を検出してビーム電流値を測定するものである。SQUIDとは、超伝導リング中に1個(RF-SQUID)もしくは2個(DC-SQUID)のジョセフソン接合を有し、この超伝導リングを貫通する磁束について磁束量子( $2.07 \times 10^{-15}$  Wb)を尺度に測定するものである。
- [0003] 上記文献では、SQUIDは液体ヘリウム温度で動作する低温超伝導体を用いたものが使用されている。また、このビーム電流測定装置は、ビーム電流に対応した磁場を検知する検知部と、磁束を測定部に伝達する磁束伝達部と、伝達された磁束に感応する超伝導素子と超伝導素子を貫く磁束の変化を打ち消すように帰還電流を流す帰還コイルを有する測定部と、検知部と磁束測定部と測定部をイオンビームが流れる空間を含む外部空間から磁気遮蔽する超伝導体からなるギャップを有する磁気遮蔽部によってその主要部が構成されている。
- [0004] 検知部は、軟磁性体のコアに超伝導線を巻回したコイルであって、ビーム電流によって発生した磁場を軟磁性体コアで収集してコイルに超伝導電流を誘起する。そしてこのコイルに誘起された超伝導電流は、SQUIDに隣接して配置したコイルまで伝達される。ビーム電流の変化に対応して、このコイルに流れる超伝導電流が変化することでSQUIDを貫く磁束量が変わらないように、変化を打ち消すように帰還コイルに帰還電流を流す仕組みとなっている。この帰還電流がビーム電流値の変化に比例しており、帰還電流を測定することでビーム電流値の変化量を決定することができる。

[0005] 近年、高温超電導体を用いたビーム電流値の測定方法が研究されている（非特許文献2参照）。この非特許文献2に開示されている方法によると、表面を高温超伝導体でコーティングした円筒を検知部として用いる。ただし、円筒の外周面には一部分だけが高温超伝導体のブリッジ部分を設けている。円筒の中央を貫いたビーム電流は円筒の表面に表面遮蔽電流を誘起する。ここで、ブリッジ部分には表面遮蔽電流が集中する。そして、集中させた表面遮蔽電流がつくる磁束をSQUIDで測定する構成である。この方法において使用されているSQUIDは高温超伝導体を用いたものであり、液体窒素温度以上で動作させることができる。

[0006] 前者の低温超伝導のSQUIDを用いたビーム電流測定装置は数nA程度相当の雑音幅でビーム電流を測定することができる。

一方、後者の高温超伝導のSQUIDを用いたものは液体窒素または冷凍機だけで運転できるという利点があるが、雑音幅は数 $\mu$ A相当と大きいとされている（非特許文献2参照）。さらにゼロ点のドリフトも大きいとされているため、数十秒以上の実際的な測定では10 $\mu$ A相当程度以上のビーム電流しか測定できないという問題があった。これに対して、磁気遮蔽の設計を工夫し、高温超電導SQUIDの感度を最適化することで1.8 $\mu$ Aのイオンビームの測定に成功したという報告がなされた（特許文献1、特許文献2、非特許文献3参照）。このときの雑音幅は0.5 $\mu$ A相当である。このように、最近、研究開発が進んでいる状況である。

[0007] 他の非破壊型測定方法には直流変流器がある。雑音幅は、磁気遮蔽の設計にもよるが、0.5 $\mu$ Aから数 $\mu$ A相当である。

[0008] 非特許文献1: 超伝導装置およびその応用: Superconducting Quantum Interference Devices and Their Applications (Walter de Gruyter, 1977) p. 311、IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. MAG-21, NO. 2, MARCH 1985、Proc. 5th European Particle Accelerator Conf., Sitges, 1996 (Institute of Physics, 1997) p. 1627、日本物理学会誌Vol.54, No. 1, 1999  
非特許文献2: アイトリプルイートランスアクションオンスーパーコンダクティビティ: IEEE TRANSACTION ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 11, NO. 1, MARCH 2001 p. 635

非特許文献3:CNSアニュアルレポート

特許文献1:特願2003-155407

特許文献2:特願2003-331848

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

[0009] このように種々の非破壊型測定方法があるが、ビーム電流に対する感度が高いもので、ビームの電流値と位置を同時に測定できるものはなかった。

そこで、例えば加速器やイオン注入機のビームラインでは、ファラデーカップやビームプロファイルモニターをそれぞれ設置している。そして、別々に測定した結果を組合せてビームの電流値と位置を把握しているのが現状である。

このような状況から、ビームを非破壊で測定することができ、かつ高精度のビーム電流値の測定ができ、さらにはビームの位置の把握も可能とするビーム測定装置が求められていた。

本発明は、前記実情に鑑みてなされたもので、高精度でビーム電流値の非破壊型測定が実現でき、かつビームの位置を測定できるビーム測定装置を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0010] 上記目的を達成するため、本発明では、外部磁場遮蔽用の磁気遮蔽部と、前記磁気遮蔽部によって生成された遮蔽空間に配された複数の磁場センサとを備え、前記磁場センサは、測定すべきビーム電流が生成する磁場を収集する磁場収集機構を複数個具備し、前記磁場収集機構は、前記各磁場センサの近傍で前記ビーム電流がつくる超伝導表面遮蔽電流を集中させるように構成したことを特徴とする。

[0011] 本発明者らは、高温超電導体を用いた種々の実験結果と、測定すべきビーム電流が生成する磁場を収集する機構の原理の考察から、磁場を収集する機構を複数個備えた構成とすることにより、ビーム電流値だけでなく、ビームの位置も測定できることを見出した。本発明はこの点に着目してなされたものである。

[0012] また本発明のビーム測定装置は、前記磁場収集機構は、前記ビーム電流が貫通する平面内にある一定の長さ範囲内で、所定の領域を除いて、超伝導表面遮蔽電

流が遮断されることにより、前記所定の領域に集中するように配設されたものを含む。

この方法によれば、効率よく表面遮蔽電流を取り出すことができる。

- [0013] また本発明のビーム測定装置は、前記磁場収集機構は、少なくとも表面が超伝導体で外周部には一部分のみを超伝導体で構成したブリッジ部分を有する筒状構造物であるものを含む。

この方法によれば、きわめて微細な抵抗しか持たない状態で効率よく遮蔽電流を集中させることができる。

- [0014] また本発明のビーム測定装置は、前記磁場収集機構は、複数の超伝導コイルであるものを含む。

この構成により、磁場センサ配置位置の自由度が増大する。

なお、磁場収集機構は、磁場センサの近傍に設けられるようにするのが望ましい。しかしながら超伝導コイルを用いる場合は、超伝導コイルは磁場センサと離間して配置してもよい。つまり、超伝導コイルはビーム電流に近いところに置いておき、磁場センサはより高度に磁気遮蔽されたノイズの少ない空間領域に配置することができる。そして、超伝導コイルで収集したビーム電流がつくる磁場を磁場センサに伝達する超伝導回路を導入するようにすればよい。超伝導回路は、現状では形状自由度の高い低温超伝導体でしかできないが、超伝導コイルを用いる場合は、同時に磁場を伝達できる超伝導回路を導入できることから、近傍に設けることなく形成可能である。

- [0015] また本発明のビーム測定装置は、前記超伝導コイルは軟磁性体で構成された芯体に巻回されているものを含む。

この構成により、より高い感度を得ることができる。

- [0016] 本発明によれば、磁場センサを複数個備えた構成として、それぞれの磁場センサで測定した信号を演算することにより、ビーム電流値だけでなく、ビームの位置を測定できるようになる。

- [0017] かかる構成によれば、ビームを非破壊型の測定で $0.5\ \mu\text{A}$ 程度相当以下の雑音幅で測定でき、かつビームの位置も同時に測定できるビーム測定装置を提供できる。

- [0018] また、本発明によれば、前記複数の磁場センサの出力信号から同位相のノイズ信号をキャンセルするように演算することで、より雑音幅を小さくして高精度の測定がで

きるビーム測定装置を提供できる。

[0019] また、望ましくは、前記磁場センサはSQUIDであることを特徴とする。

[0020] なお、高温超電導体を用いた方が、液体窒素温度以上で動作できるので望ましい。高温超電導体を用いることにより、ランニングコストが安い上、遮蔽部が薄くてすむため装置の小型化が可能となる。

[0021] 例えば数 $\mu$ Aから数十mA程度のビーム電流を高精度で測定することが求められるイオン注入装置に応用することで、半導体ウェハにイオンビームを照射しながら、同時に非破壊でビームの電流値と位置が測定できる。

[0022] また本発明のビーム電流および位置測定方法は、上記ビーム測定装置を用い、イオン源または電子線源から被処理物に照射されるビームライン上に、前記ビーム測定装置を配置し、前記磁場センサの出力から、前記ビームラインのビーム電流値、およびイオンビームの位置を測定するようにしたことを特徴とする。

[0023] なお、前記ビームラインのビーム電流値、およびイオンビームの位置の測定を、同時に測定するようにした方が、効率よくビームの制御や調整ができるので望ましい。

[0024] また本発明のビーム制御方法は、イオン源または電子線源を用いて生成されたビームに対し、上記ビーム電流および位置測定方法を用いてビーム電流を測定する測定工程と、前記測定工程で得られた前記ビーム電流値、およびビームの位置、或いはその両方を、イオン源、電子線源、分析電磁石、ビームへの電場および磁場印加部の制御パラメータに帰還する制御工程を含むことを特徴とする。

[0025] また本発明のビーム照射方法は、イオン源または電子線源を用いて生成されたビームに対し、上記ビーム制御および調整工程で得られた制御パラメータを用いて制御されたビーム電流を被処理物に照射する照射工程を含むことを特徴とする。

[0026] さらに上記ビーム測定装置を用いたビーム照射装置によれば、高精度にビーム電流値と位置を制御しつつビーム照射を行うことが可能となり、高精度の加工が可能となる。またビームの調整が容易になる。

[0027] さらに上記ビーム測定装置を具備したイオン注入装置、電子ビーム露光装置、加速器、電子ビーム蒸着装置を用いて製造あるいは検査した半導体、液晶、バイオチップなどの能動素子および、抵抗、コイル、コンデンサなどの受動素子、電線など

も有効である。

## 発明の効果

- [0028] 本発明によれば、複数の磁場センサを用いることにより、容易に非接触でビーム電流だけでなくビームの位置も測定することができる。

## 図面の簡単な説明

- [0029] [図1]本発明の第1の実施の形態のビーム測定装置に用いる高温超伝導SQUIDとフラックスロックループの回路図を示す図である。

[図2]本発明の第1の実施の形態の磁場センサの概観を示す図である。

[図3]本発明の第1の実施の形態の磁場センサとビーム位置の関係を説明する図である。

[図4]本発明の第2の実施の形態の磁場センサの概観を示す図である。

[図5]本発明第2の実施の形態の磁場センサとビーム位置の関係を説明する図である。

[図6]本発明の第3の実施の形態の磁場センサの概観を示す図である。

[図7]本発明の第3の実施の形態の磁場センサの概観を示す図である。

[図8]本発明の第4の実施の形態の磁場センサの概観を示す図である。

[図9]本発明の第4の実施の形態の磁場センサの概観を示す図である。

[図10]本発明の第5の実施の形態の磁場センサとビーム位置の関係を説明する図である。

[図11]本発明の第5の実施の形態の磁場センサの概観を示す図である。

[図12]本発明の第6の実施の形態の磁場センサとビーム位置の関係を説明する図である。

[図13]本発明の第6の実施の形態の磁場センサとビーム位置の関係を説明する図である。

[図14]本発明の第7の実施の形態の磁場センサとビーム位置の関係を説明する図である。

[図15]比較例の磁場センサの概観を示す図である。図中11 検知コイル12

SQUID13 帰還コイル15 SQUID入力コイル100 磁場を収



集する機構100a      絶縁体または常伝導体である基材100b      高温超伝導体  
101      ブリッジ部分S      スリット

### 発明を実施するための最良の形態

[0030]    次に本発明の実施の形態について図面を参照しつつ詳細に説明する。

(第1の実施の形態)

図1は本発明の実施の形態のビーム測定装置に用いる高温超伝導SQUIDとフラックスロックスループの回路図を示す説明図である

このビーム測定装置は、外部磁場遮蔽用の磁気遮蔽部と、前記磁気遮蔽部によって生成された遮蔽空間に配された複数の磁場センサとを備え、測定すべきビーム電流が生成する磁場を前記磁場センサで測定するようにしたことを特徴とするものである。このビーム測定装置は、図1に示すように、測定すべきビームの経路に配置された検知コイル11と、ビーム電流に対応した磁場を検知する磁場センサであるSQUID 12と、検知コイル11とSQUID入力コイル15の閉回路で構成される前記検知コイル11で検知された磁束を測定部に伝達する磁束伝達部と、SQUIDを貫く磁束の変化を打ち消すように帰還電流を流す帰還コイル13を備え、このSQUID12の出力をプリアンプおよび積分器を経て出力端子に導くとともに帰還コイルに帰還させるように構成されている。ここで、ジョセフソン素子の低周波固有の雑音を消去するため、交流電流でバイアスをかけている。

[0031]    図1の囲いで示した部分は低温部であり、前記検知コイル11と磁束伝達部と帰還コイル13により構成され、直径 $\phi$  4 cm×高さ2 cm程度のホルダに固定されている。前記ホルダは、図2から図8では便宜的にホルダに含まれる部位を代表してSQUIDと表示した。そして、図中に複数のSQUIDがある場合には、SQUID\_A, SQUID\_Bなど添え字で区別した。

[0032]    SQUIDは、図2で示すように測定すべきビーム電流が生成する磁場を収集する機構の近傍に配置する。磁場を収集する機構100は、表面を高温超伝導体100bでコーティングし外周部には一部分のみを高温超伝導体で構成したブリッジ部分101を有する筒状構造物を用いた。ビームが筒状構造物の内径がつくる閉曲面を貫くときに、ビームがつくる磁場により筒状構造物の内壁表面に表面遮蔽電流が誘起される

。この表面遮蔽電流は、筒状構造物の内壁表面ではビームの進行方向とは逆方向に流れる。そして、外壁表面ではビームの進行方向と順方向に流れて、一周する。ここで、筒状構造物の外壁表面は一部分のみが高温超伝導であるブリッジ部分101を有し、他は高温超伝導体100bのないスリット部Sを形成しているので、絶縁体または常伝導体である基材100aの剥き出しになっている部分には電流が流れず、ブリッジ部分に表面遮蔽電流が集中する。このようにして、測定すべきビーム電流が生成する磁場を収集する。そして、集中した表面遮蔽電流がブリッジ部分でつくる磁場を前記検知コイルで検知してSQUIDで測定する構成である。

[0033] 図3(b)は、本発明の特徴を説明するために図1の筒状構造物をビーム進行方向から見た断面図であり、図3(a)は、ビーム進行方向に垂直の方向から見た図である。図3(b)に示すように、筒状構造物をビーム進行方向に垂直に切った断面は長方形である。そして長方形の2つの短辺にそれぞれSQUIDを配置した。そして図3(c)、図3(d)は筒状構造物の構造を示す要部図である。

[0034] ビーム\_B 5は長方形の中心を通過したビームである。ビーム\_B 5に対するSQUID\_A 2とSQUID\_B 3の出力は同等であるものとする。

以下、この測定原理について詳細に説明する。ビームがつくる磁場により筒状構造物内壁表面の各部分には、ビームがつくる磁場の強弱によって異なる電流値の表面遮蔽電流が誘起される。つまり、ビームの中心からの距離をRとすると、ビームがつくる磁場は $1/R$ に比例して減衰する。そこで、筒状構造物内壁のビーム中心に近い部分には、単位面積あたり電流値の大きな表面遮蔽電流が誘起される一方で、遠い部分には小さな表面遮蔽電流が誘起される。ここで、ビーム\_B

5が内壁に誘起する表面遮蔽電流の分布は、YZ平面に対して対称である。内壁に誘起された表面遮蔽電流は、内壁表面をビームの進行方向と順方向に流れた後、外壁表面に回り、外壁表面をビームの進行方向と順方向に流れる。外壁表面には、ブリッジ\_A

1とブリッジ\_B 6の2つの経路が存在するが、2つの経路はYZ平面に対して対照なので、ブリッジ\_A 1とブリッジ\_B 6には内壁に誘起された表面遮蔽電流全体の半分の表面遮蔽電流がそれぞれ流れることになる。故に、SQUID\_A

2とSQUID\_B 3の出力は同等である。

[0035] 一方、ビーム\_A 4で示すように、長方形の中心を原点としてX軸にそってマイナス方向の位置をビームが通過した場合は、SQUID\_A 2とSQUID\_B 3の出力は同等ではない。このとき、ビーム\_A

4が内壁に誘起する表面遮蔽電流の分布は、YZ平面に対して非対称である。つまり、X軸のマイナス側の内壁にはプラス側と比較して大きな電流値の表面遮蔽電流が分布して流れる。そして内壁表面をビームの進行方向と順方向に流れた後、同様の分布をもって外壁表面に回る。そして、X軸のマイナス側の外壁に流れた表面遮蔽電流はブリッジ\_A

1に、プラス側に流れた表面遮蔽電流はブリッジ\_B 6にそれぞれ流れる。よってSQUID\_A 2の出力はSQUID\_B 3と比較して大きい。さらに、ビームの位置が原点からX軸マイナス方向にずれている距離が大きい程、SQUID\_A 2の出力はSQUID\_B 3と比較して大きくなる。

[0036] この現象を利用して、X軸におけるビームの位置を測定できる。すなわち、SQUID\_A 2とSQUID\_B 3の出力をそれぞれ $V_A(X)$ 、 $V_B(X)$ とし、図3(b)で見た筒状構造物の長軸の長さをD、位置感度係数を $\alpha$ とすると、ビーム位置Xは、 $X = (D/2) \times \alpha \times (V_A(X) - V_B(X)) / (V_A(X) + V_B(X))$ で計算できる。また、ビームがX軸上からずれた場合も、筒状構造物の構造が図3(b)で見たXZ平面に対して対称であることから、同様の原理でビームが通過した位置のX座標が測定できることは明らかである。

[0037] ところで、筒状構造物の内径がつくる閉曲面を貫いたビーム電流が内壁表面に誘起する表面遮蔽電流の総和は、ビームの位置に関係なく一定である。この現象を利用して、SQUID\_A

2とSQUID\_B 3の出力の和を計算することで、ビーム電流値を測定できる。つまり、SQUID\_A 2とSQUID\_B 3の出力を用いて演算することで、ビームが通過したX軸上の位置と、ビーム電流値を同時に測定できる。

[0038] 前記SQUIDを2つ配置した構成では、ビームの位置は1次元で測定することができる。

[0039] (第2の実施の形態)

図4、図5(a)および(b)は、この原理を拡張してビームの位置を2次元で測定できるように改良した構成の一例である。図5(b)に、図4の筒状構造物をビーム進行方向から見た断面図を示した。また、図5(a)はビーム進行方向と垂直方向から見た断面図である。この構成では、ブリッジとSQUIDをそれぞれ3つ設置した。すなわち、前記第1の実施の形態で説明した図2、図3(a)および(b)の場合に加えて、Y軸上にブリッジ\_C

8とSQUID\_C 7を追加した。ビームがY軸のプラス側を通過した場合は、マイナス側を通過した場合と比較して、SQUID\_C 7の出力は大きくなり、SQUID\_A 2とSQUID\_B 3の出力は小さくなる。このように、ビームの位置により3つのSQUIDの出力の比がそれぞれ異なる。そして、ビームの位置のXY平面上の座標と、3つのSQUIDの出力の比は1対1で対応している。つまり、3つのSQUIDの出力の比を計算することで、筒状構造物をビーム進行方向に垂直に切った断面の長方形の中で、ビームの位置をXY平面上の座標として2次元で測定することができる。なお、X軸とY軸方向それぞれに2つのSQUIDを配置すれば、より簡単にビームの位置を2次元で測定することができる。

[0040] (第3の実施の形態)

図6は、ブリッジとSQUIDをそれぞれ1つずつと、それに加えて2つの磁場センサを用いた構造である。ここでは筒状構造物が円筒である。つまり、磁場センサはSQUIDとあわせて3つであるが、磁場を収集する機構であるブリッジは1つである。ここで磁場センサはSQUID以外のものを用いても良い。このような構造とすることで、SQUIDでビーム電流値を測定し、別途、磁場センサ\_A 10と磁場センサ\_B 11でビームの位置を測定することができる。

[0041] (第4の実施の形態)

図7は、筒状構造物が円筒であるが、ブリッジとSQUIDをそれぞれ2つずつ有し、前記第1の実施の形態の図2、図3に示した構造と基本的に同じである。SQUID\_A 2とSQUID\_B 3の出力を演算することで、SQUID\_A 2とSQUID\_B 3を結ぶ線に対して1次元でビームの位置と、ビーム電流値を同時に測定できることがわかる。

図8、図9は、筒状構造物内壁のX軸正負側にそれぞれ誘起された表面遮蔽電流

が、それぞれ近いほうのブリッジに流れやすいように、絶縁体または常伝導体のデザインを工夫したものである。筒状構造物外壁の中央部にブリッジ\_A 1とブリッジ\_B 6を隔てるように絶縁体または常伝導体を設けることで、それぞれのSQUID出力はビームの位置を反映しやすくなる。ここでは、超伝導体(100b)で全面を被覆した中において、超伝導体を被覆せず、基体(100a)の露呈したスリットSを形成することにより、ブリッジ\_A 1とブリッジ\_B 6を隔てる。なお、ブリッジ\_A 1とブリッジ\_B 6を隔てるべき絶縁体または常伝導体の配置は、図10、図11、図12、図13のようにしても効果的である。

[0042] (第5の実施の形態)

図10、図11(a)および(b)は、前記実施の形態における筒状構造物の外壁のビーム方向の一部に形成され、超伝導体から基体が露呈するように形成されたスリットSを、端面まで貫通するように形成した点で前記実施の形態と相違する。他は前記実施の形態と同様である。

この形態は、前記位置感度係数をなるべく大きくするために、筒状構造物の形状に合わせてスリットSの形状を最適化するものである。

[0043] (第6の実施の形態)

図12、図13(a)および(b)は、超伝導体から露呈するスリットSを筒状構造物の端面を貫通するようにした点で前記第5の実施の形態と相違する。他は前記実施の形態と同様である。

このようにビームの方向に沿って超伝導領域を分割することにより、さらにビームの位置をはっきりと反映されることになり、位置の検出精度が向上する。

[0044] (第7の実施の形態)

図14は、磁場収集機構の他の例である。本実施の形態では、磁場収集機構として超伝導コイルを2つ設けたものである。この例では各磁場収集機構において、超伝導コイル31で磁性体からなる超伝導コア32を巻回し、超伝導回路33を介して磁場センサ34に導き磁場を検出する。この構成により、必ずしも磁場センサをビーム電流に近接することなく、検出することができる。他は前記実施の形態と同様である。

なお超伝導コアとしての芯体は必ずしもなくてもよく、複数の超伝導コイルがあれば

よい。

[0045] 以上のように本実施の形態によればビームの位置とビーム電流値を同時に測定することができる。

次に、比較例について説明する。

図15に比較例のビーム電流測定装置に用いた磁場を収集する機構とSQUIDの構成を示す。磁場を収集する機構は、表面を高温超電導体でコーティングし外周部には一部分のみを高温超伝導体で構成したブリッジ部分を有する円筒を用いた。ここで、ブリッジとSQUIDはそれぞれ1個ずつである。比較例の構成では、ブリッジは1つしかないので、表面遮蔽電流は超伝導体で抵抗がゼロのブリッジに集中して流れる。つまり、円筒表面に誘起された表面遮蔽電流は1つのブリッジに集められる。このようにして、測定すべきビーム電流が生成する磁場を収集し、集中した表面遮蔽電流がブリッジ部分でつくる磁場を前記検知コイルで検知してSQUIDで測定する構成である。ここで、円筒の内径がつくる閉曲面を通過するビームの位置が変化しても、ビームがつくる磁場により円筒内壁表面に誘起される表面遮蔽電流の総和は変化しないので、ビームの位置に関係なく、ビーム電流を測定できる。これにより、従来例で説明したように、高温超電導体を用いて数 $\mu$  Aのビーム電流を非破壊で測定できる。ただし、ビームの位置については測定できなかった。

#### 産業上の利用可能性

[0046] 以上説明してきたように、本発明によればビーム電流値を高精度で非破壊型測定ができ、かつビームの位置を測定できるため、高精度の位置及びビーム電流値の調整が可能となり、微細加工工程で信頼性の高い利用が可能となる。

### 請求の範囲

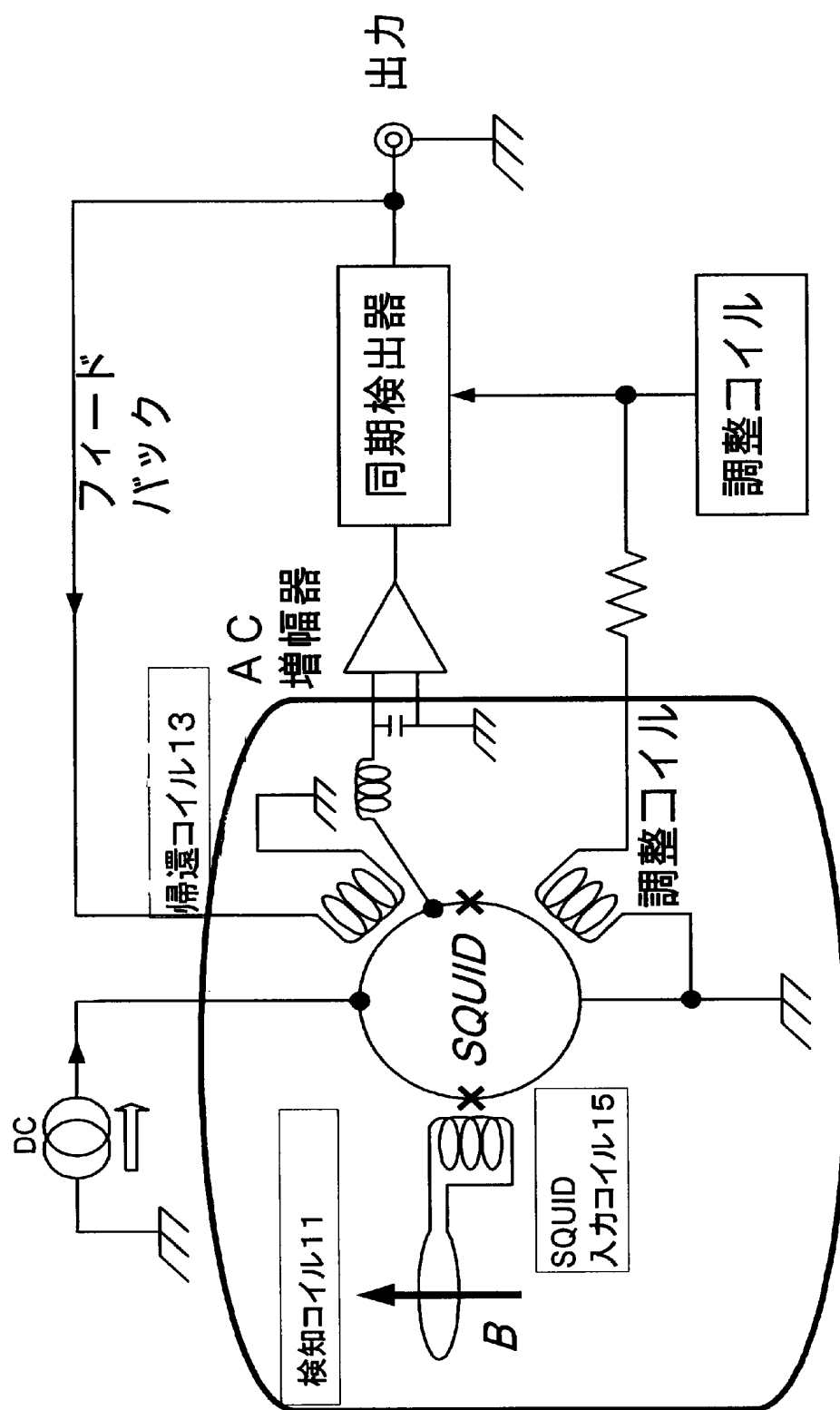
- [1] 外部磁場遮蔽用の磁気遮蔽部と、前記磁気遮蔽部によって生成された遮蔽空間に配された複数の磁場センサとを備え、測定すべきビーム電流が生成する磁場を前記磁場センサで測定するようにしたビーム測定装置であって、
- 前記磁場センサは、測定すべきビーム電流が生成する磁場を収集する磁場収集機構を複数個具備し、
- 前記磁場収集機構は、複数の前記磁場センサの近傍で前記ビーム電流がつくる超伝導表面遮蔽電流を集中させるように構成したことを特徴とするビーム測定装置。
- [2] 前記磁場収集機構は、前記ビーム電流が貫通する平面内にある一定の長さ範囲内で、所定の領域を除いて、超伝導表面遮蔽電流が遮断されることにより、前記所定の領域に集中するように配設されたことを特徴とする請求項1に記載のビーム測定装置。
- [3] 前記磁場収集機構は、少なくとも表面が超伝導体で外周部には一部分のみを超伝導体で構成したブリッジ部分を有する筒状構造物である請求項2に記載のビーム測定装置。
- [4] 前記磁場収集機構は、複数の超伝導コイルである請求項1に記載のビーム測定装置。
- [5] 前記超伝導コイルは軟磁性体で構成された芯体に巻回されている請求項4に記載のビーム測定装置。
- [6] 前記複数の磁場センサの出力信号は演算回路に接続され、ビーム電流の電流値、位置を演算して出力するように構成された請求項1乃至5のいずれかに記載のビーム測定装置。
- [7] 前記複数の磁場センサの出力信号は演算回路に接続され、同位相のノイズ信号をキャンセルするように演算して出力するように構成された請求項1乃至6のいずれかに記載のビーム測定装置。
- [8] 前記磁場センサはSQUIDである請求項1乃至7のいずれかに記載のビーム測定装置。
- [9] 前記磁気遮蔽部、前記磁場センサ、前記磁場収集機構は高温超電導体を用いた

部品を有する請求項1乃至8のいずれかに記載のビーム測定装置。

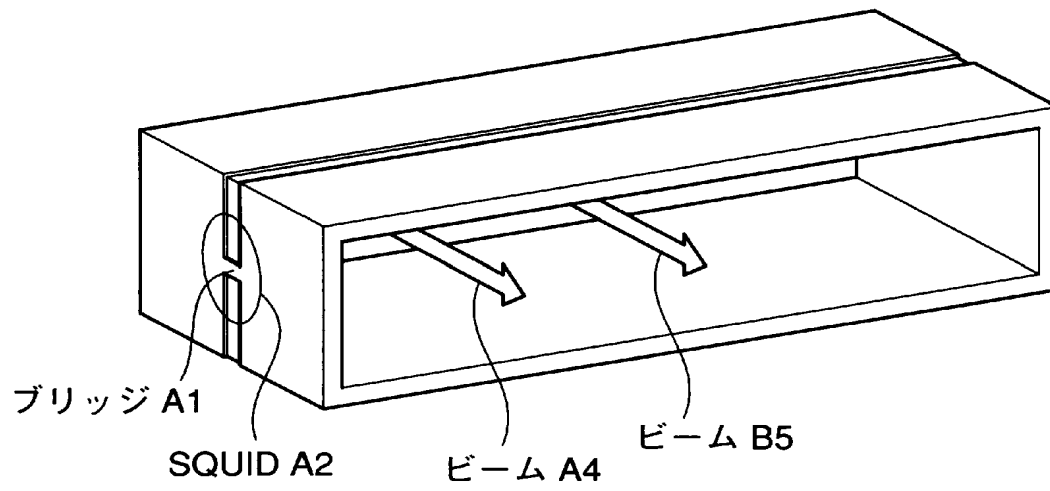
- [10] 請求項1乃至9のいずれかに記載のビーム測定装置を用い、イオン源または電子線源から被処理物に照射されるビームライン上に、前記ビーム測定装置を配置し、前記磁場センサの出力から、前記ビームラインのビーム電流値、およびビームの位置を測定するようにしたビーム測定方法。
- [11] 前記ビームラインのビーム電流値、およびビームの測定を、同時に行う請求項10記載のビーム測定方法。
- [12] イオン源または電子線源を用いて生成されたビームに対し、請求項10または11に記載のビーム測定方法を用いてビーム電流を測定する測定工程と、  
前記測定工程で得られた前記ビーム電流値、およびビームの位置、或いはその両方を、イオン源、電子線源、分析電磁石、ビームへの電場および磁場印加部の制御パラメータに帰還する制御工程を含むビームの制御方法。
- [13] 請求項12に記載のビームの制御工程で得られた制御パラメータを用いて制御されたビーム電流を被処理物に照射する照射工程を含むことを特徴とするビーム照射方法。
- [14] 請求項1乃至9のいずれかに記載のビーム測定装置を備えたビーム照射装置。
- [15] 請求項1乃至9のいずれかに記載のビーム測定装置を具備したイオン注入装置、電子ビーム露光装置、加速器、電子ビーム蒸着装置を用いて製造あるいは検査した被処理物。



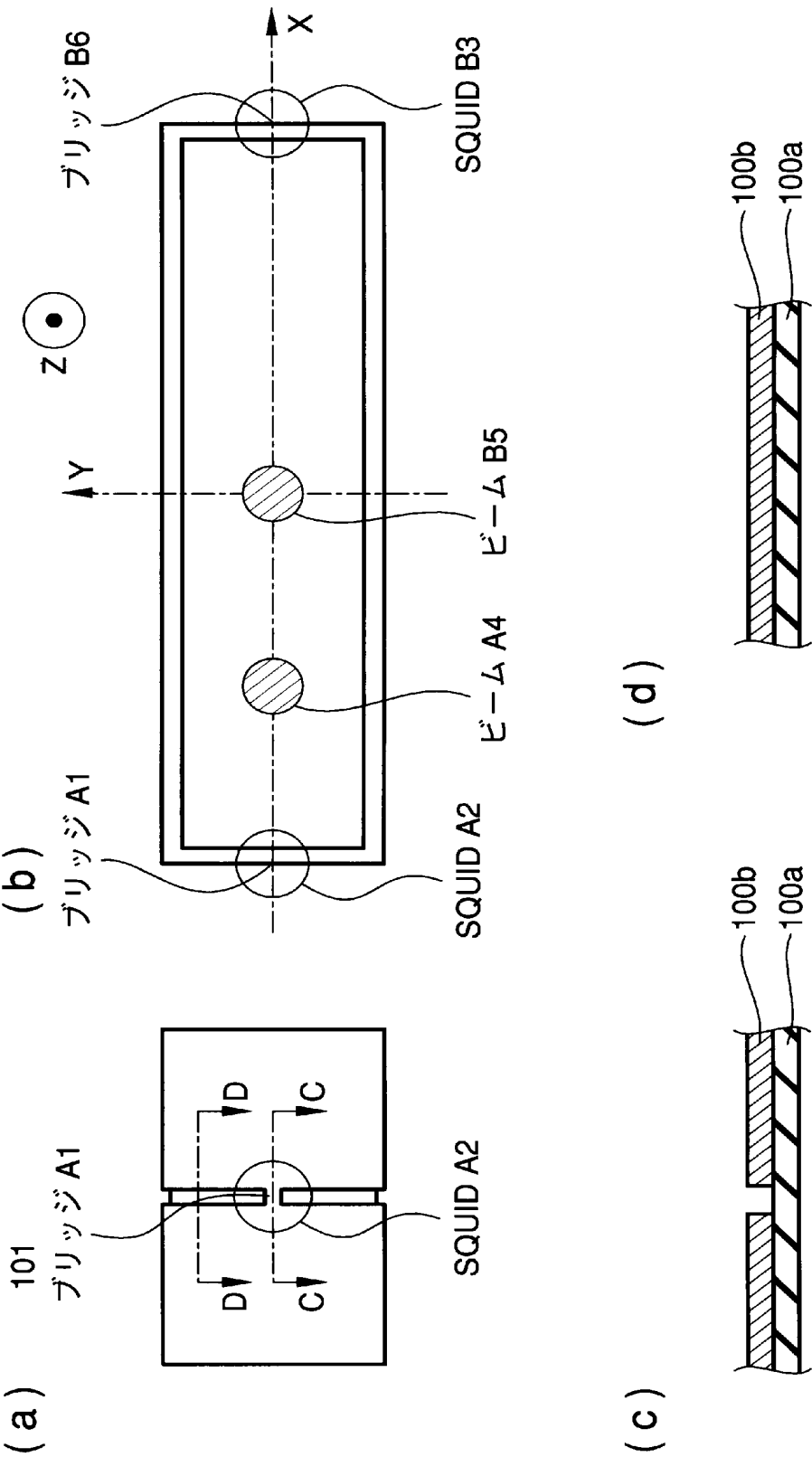
[図1]



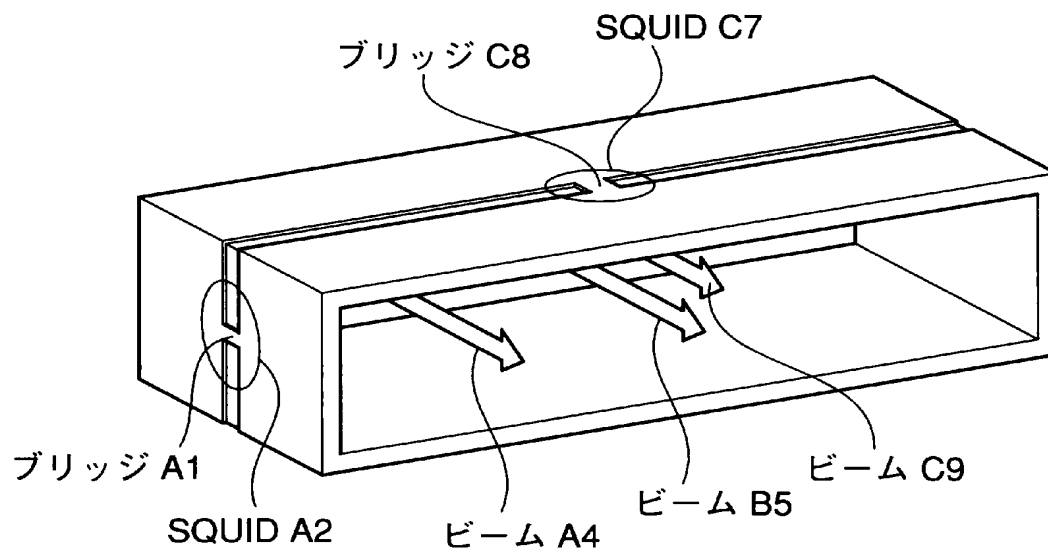
[図2]



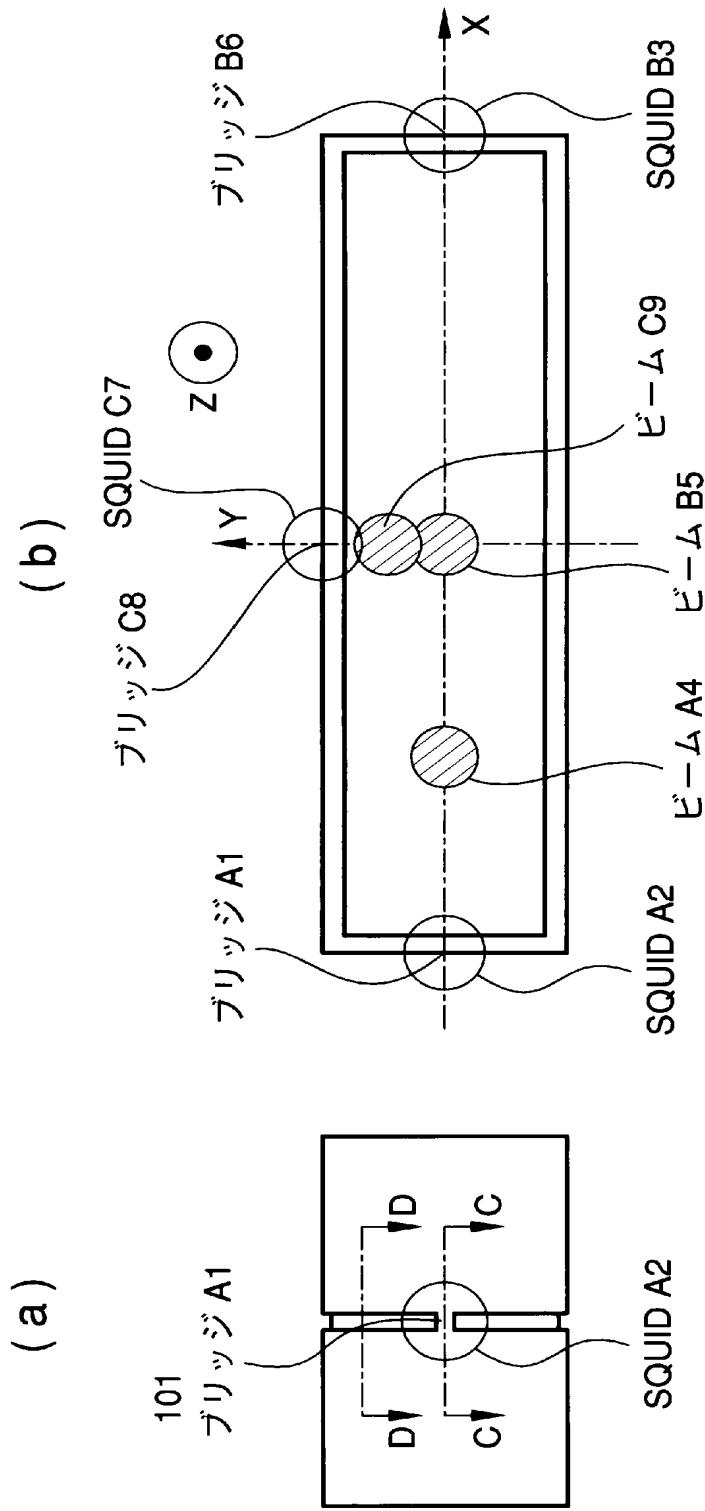
[図3]



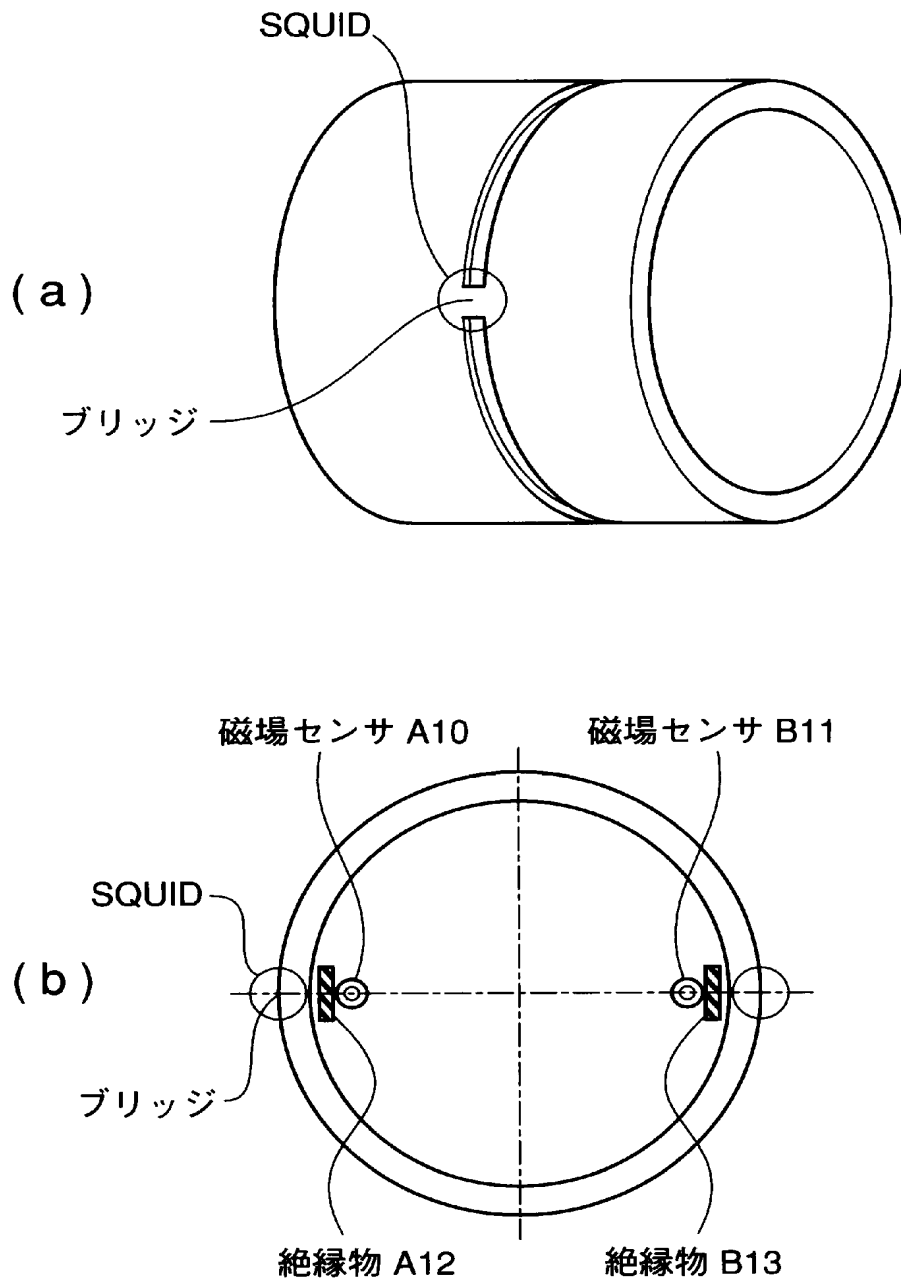
[図4]



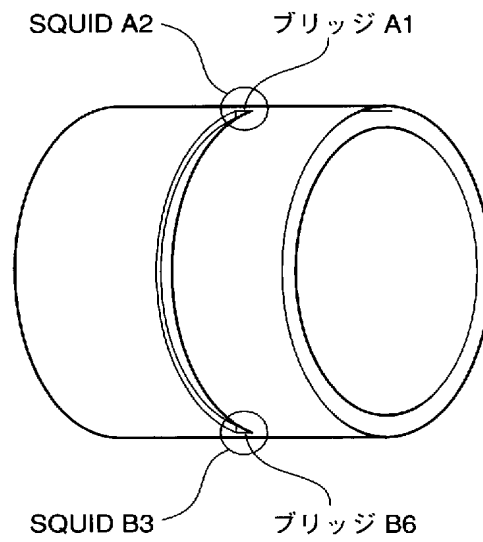
[図5]



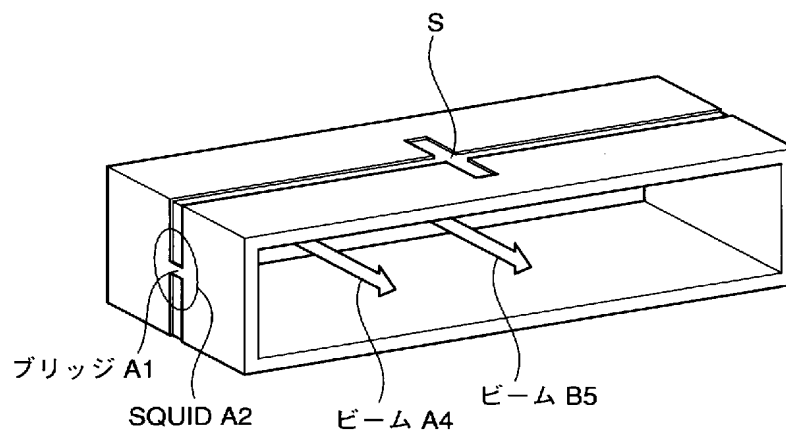
[図6]



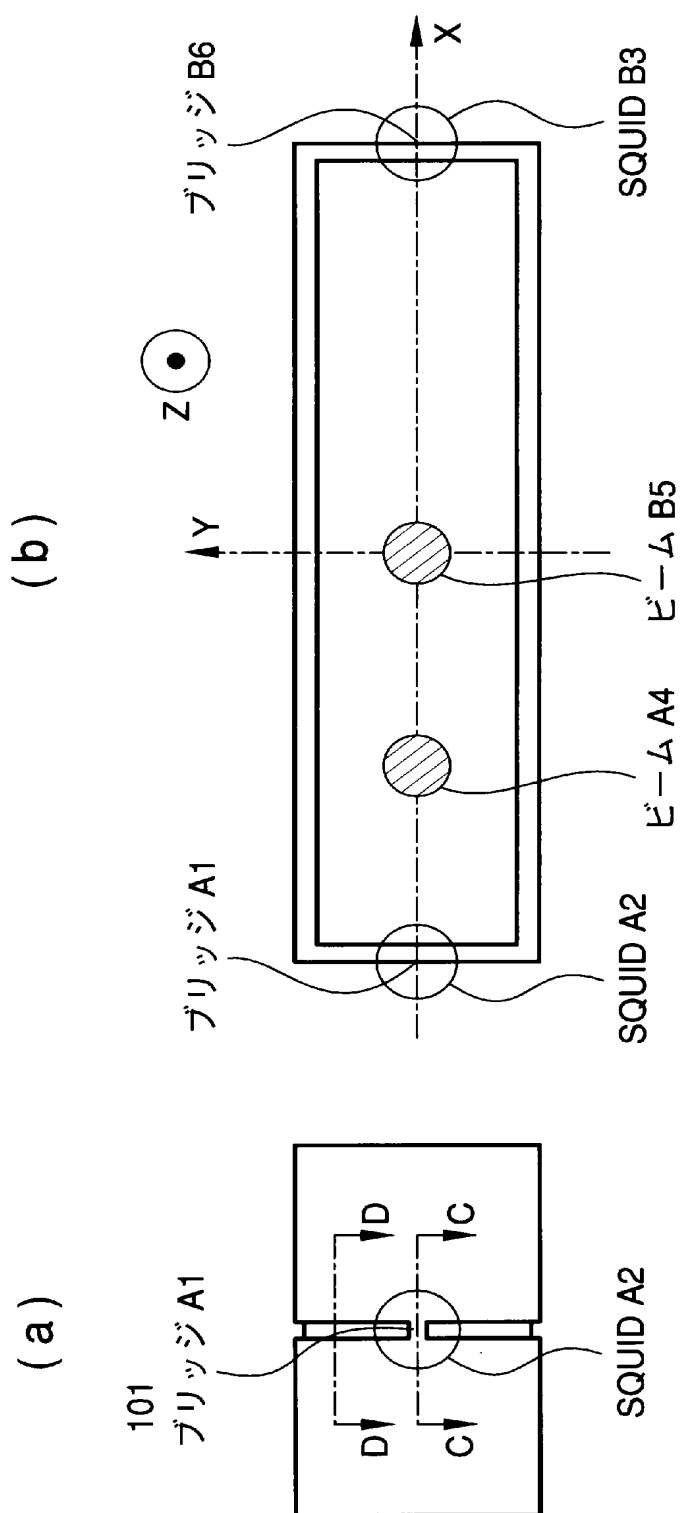
[図7]



[図8]

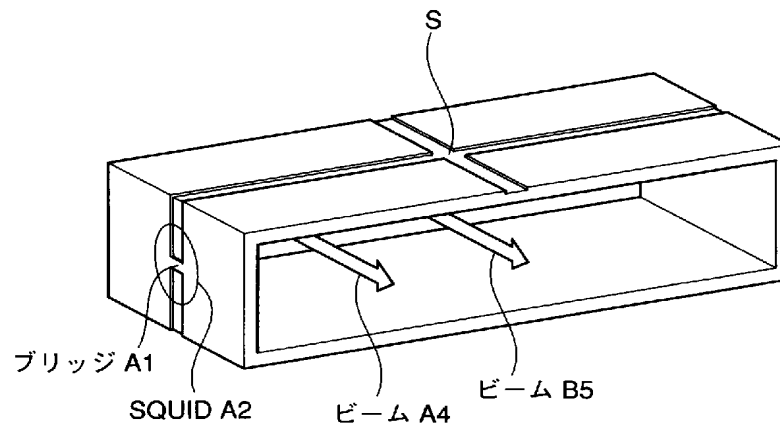


[図9]

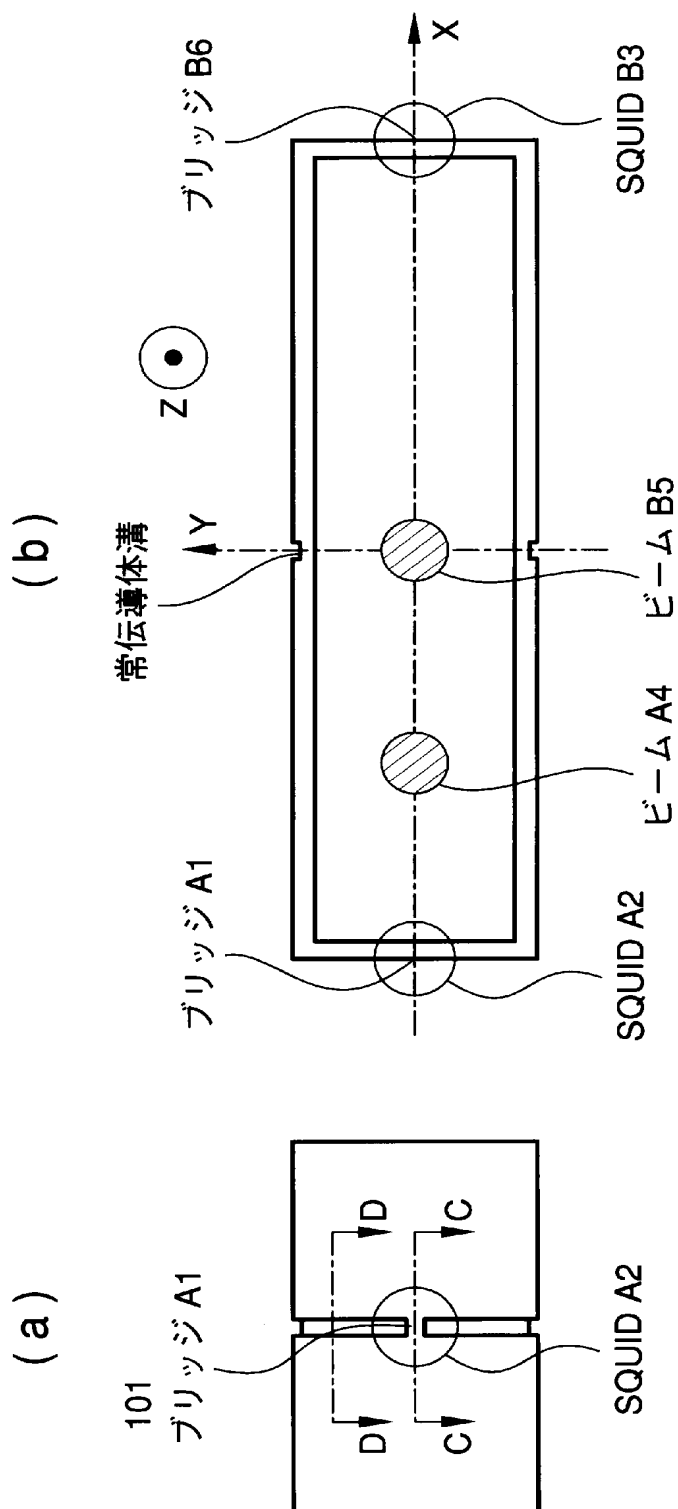




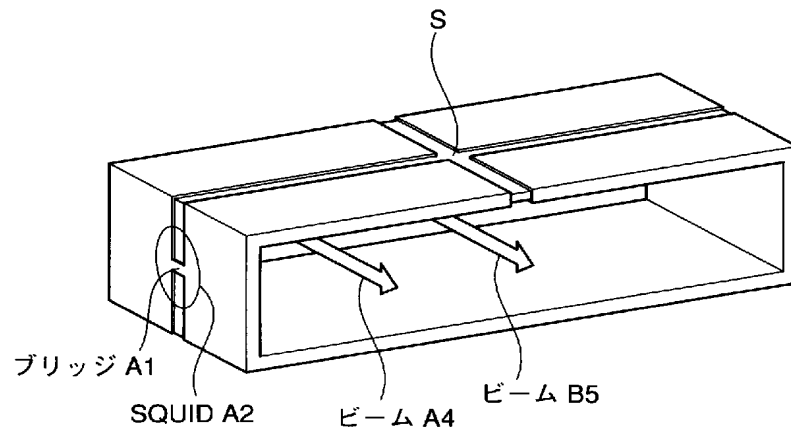
[図10]



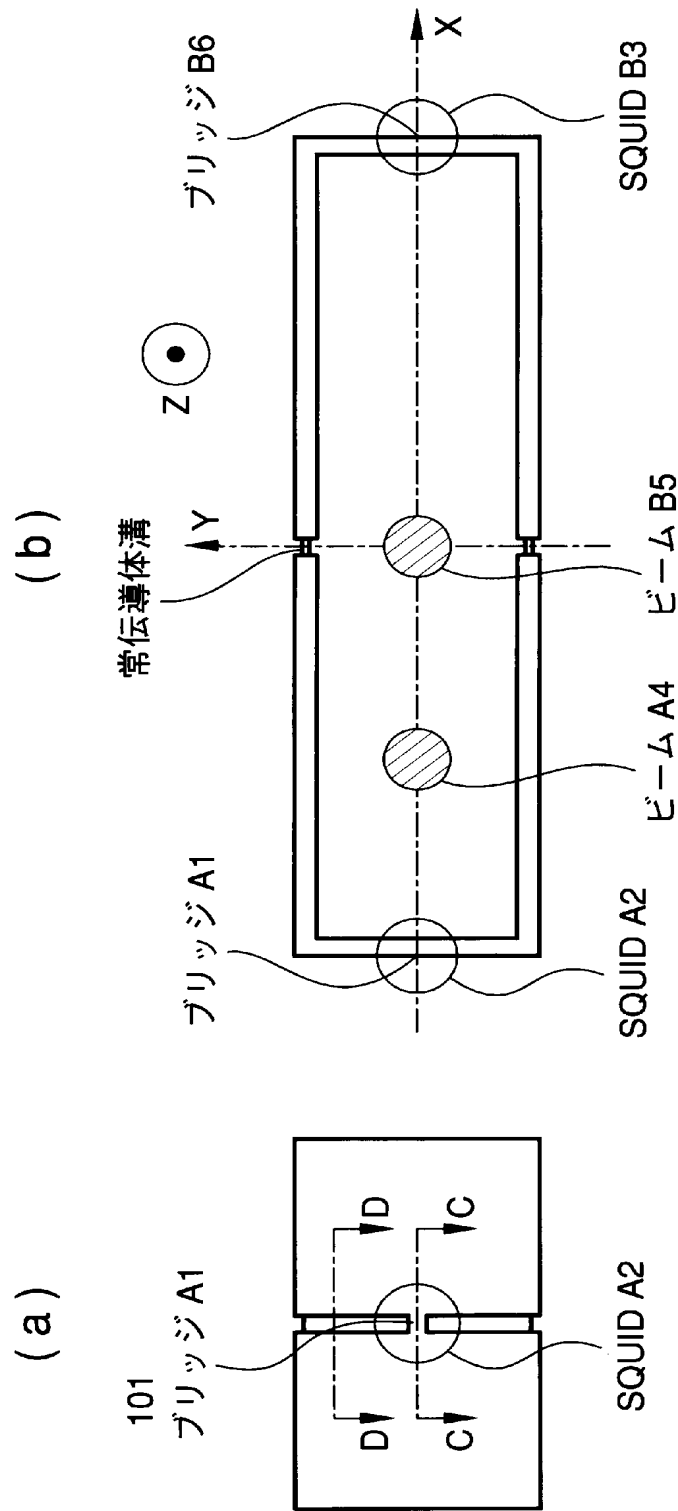
[図11]



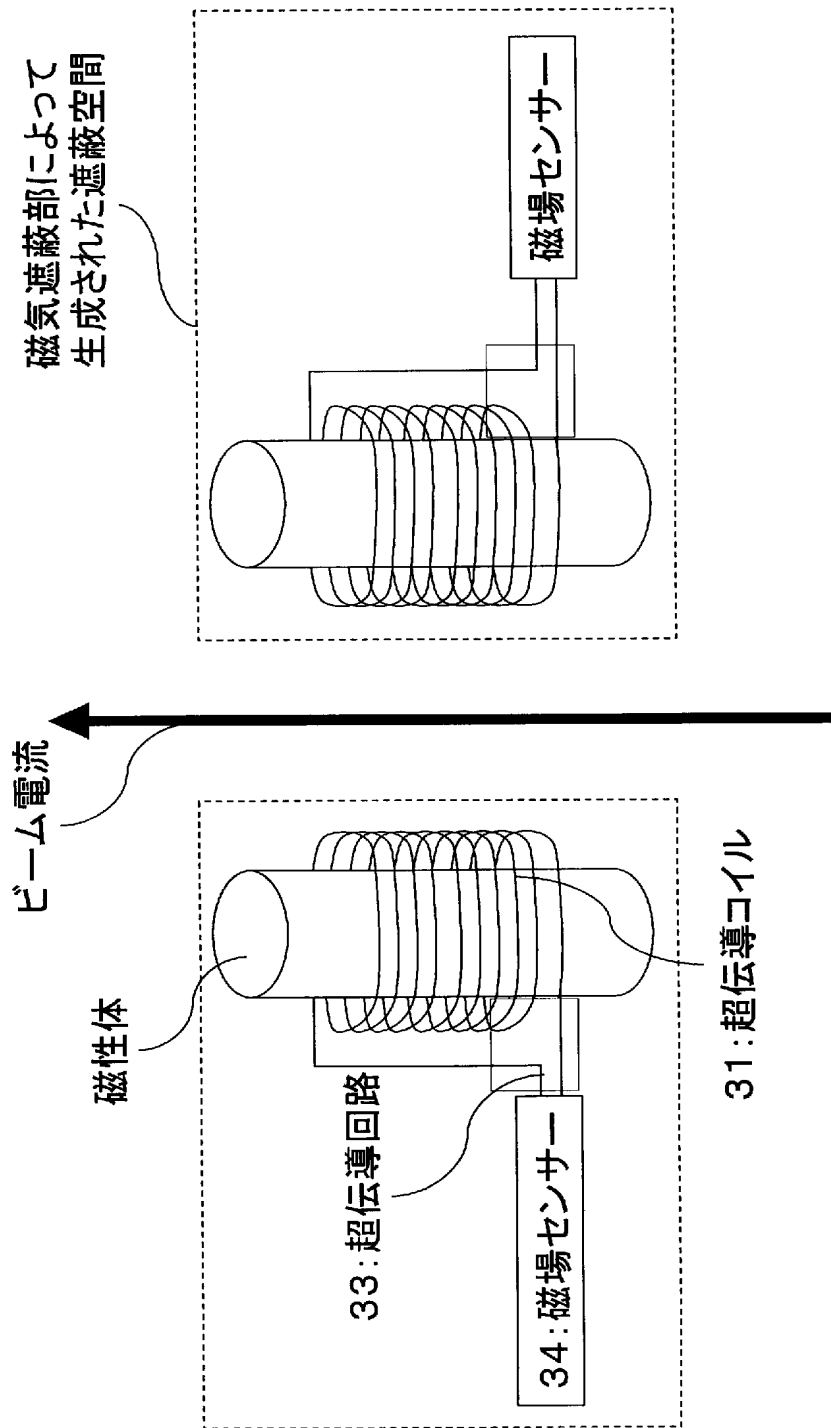
[図12]



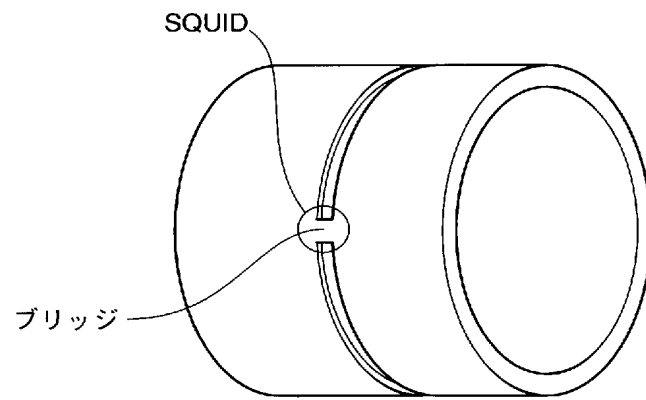
[図13]



[図14]



[図15]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/002075

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> G01T1/29, G01R33/035, G21K5/00, 5/04, H01J37/04, H01L21/027

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> G01T1/29, G01R33/035, G21K5/00, 5/04, H01J37/04, H01L21/027

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 3-67410 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.),	1, 4-8, 10-11, 14
Y	22 March, 1991 (22.03.91), Full text; Fig. 1 (Family: none)	2-3, 9, 12-13, 15
Y	L.Hao, J.C. Macfarlane, D.A., peden, R.A.M. Lee, J.C.Gallop & C.Carr, Design and performance of an HTS current comparator for charged-particle-beam measurements, IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, Vol.11, No.1, March, 2001, pages 635 to 638	2-3, 9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 April, 2005 (27.04.05)

Date of mailing of the international search report

17 May, 2005 (17.05.05)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/002075

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 48-29808 Y1 (Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd.), 10 September, 1973 (10.09.73), Full text; Fig. 1 (Family: none)	12-13, 15
A	JP 5-164827 A (Shimadzu Corp.), 29 June, 1993 (29.06.93), Full text; Fig. 5 (Family: none)	12-13, 15
P, T	JP 2004-356573 A (RIKEN, Japan), 16 December, 2004 (16.12.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-15



## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> G01T1/29, G01R33/035, G21K5/00, 5/04, H01J37/04, H01L21/027

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> G01T1/29, G01R33/035, G21K5/00, 5/04, H01J37/04, H01L21/027

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 3-67410 A (日本電信電話株式会社) 1991.03.22, 全文、第1図 (ファミリーなし)	1、4-8、 10-11、 14
Y		2-3、9、 12-13、 15

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

27.04.2005

国際調査報告の発送日

17.5.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

青木 洋平

2M

3104

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	L. Hao, J. C. Macfarlane, D. A. peden, R. A. M. Lee, J. C. Gallop&C. Carr, Design and performance of an HTS current comparator for charged-particle-beam measurements, IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 11, NO1, MARCH 2001, p635-638	2 - 3、9
Y	JP 48-29808 Y1 (東京芝浦電気株式会社) 1973.09.10, 全文, 第1 図 (ファミリーなし)	1 2 - 1 3、 1 5
A	JP 5-164827 A (株式会社島津製作所) 1993.06.29, 全文, 図5 (フ ァミリーなし)	1 2 - 1 3、 1 5
P, T	JP 2004-356573 A (独立行政法人理化学研究所) 2004.12.16, 全文、 全図 (ファミリーなし)	1 - 1 5